

戦略的創造研究推進事業
(社会技術研究開発)
平成25年度研究開発実施報告書

「科学技術イノベーション政策のための科学
研究開発プログラム」

研究開発プロジェクト
「市民生活・社会活動の安全確保政策のためのレジリエンス分析」

研究代表者 古田一雄
(東京大学 教授)

目次

1. 研究開発プロジェクト名.....	2
2. 研究開発実施の要約.....	2
2 - 1. 研究開発目標.....	2
2 - 2. 実施項目・内容.....	2
2 - 3. 主な結果.....	2
3. 研究開発実施の具体的内容.....	3
3 - 1. 研究開発目標.....	3
3 - 2. 実施方法・実施内容.....	3
3 - 3. 研究開発結果・成果.....	9
3 - 4. 会議等の活動.....	24
4. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況.....	24
5. 研究開発実施体制.....	24
6. 研究開発実施者.....	25
7. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など.....	26
7 - 1. ワークショップ等.....	26
7 - 2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など.....	26
7 - 3. 論文発表.....	26
7 - 4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）.....	27
7 - 5. 新聞報道・投稿、受賞等.....	27
7 - 6. 特許出願.....	27

1. 研究開発プロジェクト名

「市民生活・社会活動の安全確保政策のためのレジリエンス分析」

2. 研究開発実施の要約

2 - 1. 研究開発目標

最新のモデリング及びシミュレーション技術を活用し、電力、ガス、水道、物流、通信など複数の重要インフラ相互の依存性を考慮に入れながら、脆弱性・耐性、リスクの評価および評価結果の見える化を行う。さらに、重要インフラに関して、ダメージからのシステムの回復能力であるレジリエンスの包括的評価手法と、復旧プランの策定に関する判断支援手法を開発する。以上の成果に基づいて、政府のレジリエンス向上策の立案、非常時対応のための組織制度設計を支援するための提言を行う。

2 - 2. 実施項目・内容

- ① 複合インフラシステムのモデリングとシミュレーション
 - ・ 電力、ガス、物流システムのモデリング
 - ・ IMDJ 手法を用いた脅威シナリオ共創の予備検討
- ② レジリエンスの総合評価と意思決定支援
 - ・ 簡易仮想モデルを用いた複合インフラシステムの復旧シミュレーションの実施
 - ・ 災害コンテキストモデルの構造の検討と基本設計
- ③ 市民社会・社会活動の安全に係る政策・制度の選択肢研究
 - ・ 緊急事態への対応に関連して法的に準備すべき事項の調査と検討
 - ・ 米国の危機管理体制の調査に基づく日本の現状把握と比較検討

2 - 3. 主な結果

関東圏の電力基幹システムモデル、天然ガス高圧導管モデル、東京23区の主要道路交通モデルの1/2を構築し、上水道シミュレーション技術、情報通信ネットワークの調査を行った。IMDJ手法を用いた脅威シナリオ共創のパイロットセッションを実施した。簡易仮想モデルを用いて相互依存性を考慮した復旧シミュレーションを行い、人間中心視点の必要性を確認した。災害看護を具体的な例題として、災害コンテキストモデルの基本設計とその評価を行った。わが国の緊急事態対処に係る法制度の問題点、および東日本大震災でも指摘された事項を整理し、法的に準備すべき事項を検討に着手した。米国の法的基盤も含めた危機管理体制についての文献調査、日本の現状との比較・整理を行った。米国サンディア国立研究所、ローレンスバークレー国立研究所、欧州のDeans Forum参加大学への訪問調査を実施した。

3. 研究開発実施の具体的内容

3 - 1. 研究開発目標

本研究プロジェクトでは、市民生活・社会活動に不可欠な重要インフラに自然災害、人為的脅威、事故といった脅威が加わったときの複雑な挙動について、如何なる部分が脆弱なのか、如何なるリスクが生じる可能性があるかを様々なシナリオの下でシミュレーション分析し、相互依存性の考慮や多角的視点からの包括的レジリエンス評価の必要性に関する科学的根拠を明かにする。

こうして得られた根拠情報に基づいて、わが国の市民生活・社会活動に係る危機管理政策やリスクガバナンス戦略への選択肢を創出し、この社会的課題の解決に寄与することを目標とする。すなわち、国土強靱化基本法成立後、内閣府に新たに設置が想定される司令塔的役割を担う組織に対し、重要インフラのレジリエンス強化のための政策・制度設計に関する選択肢を制度設計の議論のたたき台として提供することを考える。また、事例分析結果および包括的なシナリオシミュレーション分析結果を含むシナリオライブラリーや、重要インフラの復旧プランニングの手法を開発し、危機対応の際の意思決定支援の手段として内閣府、首都圏自治体、重要インフラ事業者ならびに監督官庁へ提供する。

3 - 2. 実施方法・実施内容

(1) 電力・ガスシステムのモデリング

本サブテーマでは日本で最も旺盛なエネルギー消費を誇る首都圏を含む関東圏に着目する。そして重要インフラである電力・ガスインフラの配置を明示的に考慮に入れたエネルギーモデルを構築し、エネルギー供給途絶などの突発的リスクに対しても強靱な関東圏のエネルギーシステムのあり方に関して分析を行うことを目的としている。

平成25年度は本格的分析の前段階として、関東圏の電力、ガスインフラのモデリング、および、それらのインフラを考慮に入れた予備的な関東圏のエネルギーモデルを構築した。関東圏の電力系統に関しては、中圧・低圧系統に関する十分な情報が公開されていないため、電気学会 East30 機系統モデルを参考にしながら高圧基幹系統に着目してモデリングを行うこととした。発電ノードについては、関東圏で実際存在する原子力、石炭火力、石油火力、天然ガス火力(汽力)、天然ガス複合、一般水力、揚水式水力発電の所在、設備容量を調査し、基幹系統ネットワークに配置する。電力需要ノードには、複数の市区町村内の需要家すべてが特定のノード上に集合しているものと考え、各市町村の人口分布を参考に、関東圏の電力需要の地理的分布を設定する。そして、電力インフラを流れる電力潮流計算に関しては、電力系統の電力方程式を解いて電圧、位相角、有効電力、無効電力潮流を求める交流法ではなく、計算の簡易化を行うために、電力方程式の近似式を解き有効電力潮流の概略値を求める直流法を適用する。

ガスインフラに関しても同様に、中圧、低圧ガスパイプラインの情報が公開されていないため、主として高圧パイプラインに着目してモデリングを行う。また、輸入 LNG の熱量調整、気化、送出を行う天然ガス製造設備についてもデータを調査し、モデリングを行う。また、都市ガス需要ノードも市区町村内の需要家すべてが特定のノード上に集中していると仮定し、各市町村の人口分布を元に関東圏の都市ガス需要の地理的配置を設定する。

また、エネルギーシステム強靱化を考える上で、既存の大規模集中型電源のみならず、コージェネレーションシステム（CGS）や太陽光発電等の分散型電源を適切に導入し、集中型電源、分散型電源の最適運用を実現することが重要となる。そこで本サブテーマでは、需要家における分散型電源に関するモデリングを行う。コージェネレーションシステムの導入に際しては、熱利用を考慮する必要があるため、有効エネルギー需要を関東圏において地域別に設定する必要があるため、需要ノード別に有効エネルギー需要として動力、暖房、冷房、給湯需要の4種に細分化して設定する。さらにCGSの他に、これらの需要に対してエネルギー供給を行う需要家機器を設定し、重要インフラによる電力、都市ガス等のエネルギー供給と、最終需要を接続するモデルを構築する。エネルギー供給源は、電力、都市ガス、LPガス、石油を想定し、CGSの種類はガスエンジン、小型ガスエンジン、家庭用燃料電池を想定し、その他の需要家機器は、ヒートポンプ、ボイラ、吸収式冷凍機、給湯器等をモデリングすることとする。

（2）物流システムのモデリング

物流（陸上輸送）に関しては、平成25年度には吉村・藤井が開発してきた知的マルチエージェント交通流シミュレータMATESのフォーマットで東京都区部の道路全体（図1に示す）のネットワークデータを作成した。加えて北西の3×3グリッド（図中の赤枠部分）について、より詳細なデータ（単路・交差点詳細構造等）を整備して交通流シミュレーションを実行可能とした。平成26年度はデータ構築作業を継続し、シミュレーション実行可能区域を拡大することを目標の1つとする。

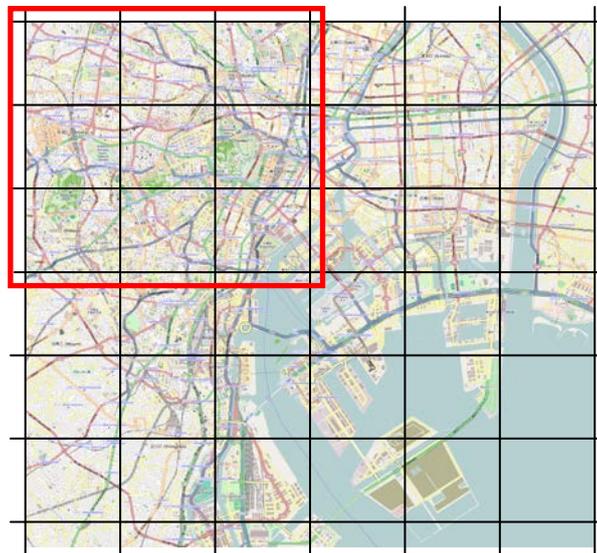


図1 東京都区部の道路ネットワーク
(OpenStreetMap (<http://osm.jp/>)をもとに作成)

また、交通センサス等から得られている各道路区間の交通量調査を参照データとして、平時のOD（起点—終点）交通量を同定するための予備解析を実施する。

あわせて、東京 23 区の交通流シミュレーションを現実的な時間で実施するための手法について検討を行う。車両挙動の計算は領域分割法を用いて効率的に並列化可能であることが既に分かっているが、車両が走行する経路の探索は車両数とネットワークの規模（交差点数）に応じて計算コストが飛躍的に増大する。本プロジェクト全体が対象とするのは大規模な地域であり、かつ、陸上輸送単独でなく複数のインフラが連携したシステムであるため、他のインフラモデルと協調できるだけの計算速度を発揮できることが望ましい。具体的には、シミュレーションの粗視化や、経路探索機能の並列化技術等について検討するものとする。

（3）IMDJ 手法を用いた脅威シナリオ共創の予備検討

重要インフラ防護で考慮すべきシナリオを作るため、複数分野の専門家が知恵を出しあってビジネスチャンスを発見するために開発されたシナリオ共創手法（データジャケット上のイノベーションゲーム：英語名称 **Innovators Marketplace on Data Jackets: IMDJ**）をカスタマイズし始めた。目的は、①異なるインフラの挙動モデル及びインフラ間の相互作用を表す新モデルを結合し、複合インフラシステムの挙動を分析・シミュレーションする研究者の行動シナリオを得る、②個別システムのシミュレーションを結合し、複合システムの挙動および人間側の防御行動のシナリオを得ることが中心であるが、研究プロジェクトの全体像に貢献することのできる手法である。

ここでは IMDJ 法を、インフラにおける社会的リスクの検討に関心を持つ産学官のメンバーからリスク認識に関わる情報を収集し、それらの結合によってインフラシステムの脆弱性・耐性分析やシミュレーションの前提となる脅威シナリオ作成することを狙うシナリオ共創ワークショップとして適用している。メンバーらは全員が、インフラの社会的リスクに関して自分の知る実存の情報（データ/分析ツール/シミュレーションツール等）の概要を「データジャケット (DJ)」として提出する。DJ_iは{名称 title_i, 概要 abst_i, タイプ type_i, 変数セット varset_i}の組みからなり、DJ_iがデータである場合は原則として原因変数と結果変数を区別せず varset_iに含めるが、ツールである場合には varset_iを原因（入力）セットと結果（出力）セットに分けても良い。データやツールの中身を持ち主の事情によって秘匿しても、データジャケットとして概要が提出されている限り要素間の関係は概要レベルで可視化されるのであるが、データの詳細に立ち入らない可視化を行うゆえにこそ参加者が要素を組み合わせてデータ分析や行動のシナリオを発想する作業を支援することができる。ここでは、図 2 のようにシナリオマップ上で各種要素の結合案とその効果を検討した。要素の多様性を確保するため、一般社会や企業から提供される要素もシナリオマップに含めている。今年度は、エネルギーや医療についての社会的要求を前提として政策科学、テキスト分析、マルチエージェントシミュレーション等に関する研究を行う大学研究者の他、製造業、ソフトウェア産業を含む各業界における人事教育担当、が代わる代わる参加して 4 回の IMDJ を実施した。今後、一層充実が期待されるレジリエント・ガバナンス研究会メンバーの参加を得て、各種インフラの挙動についての計算モデル群、モデル間の相互作用、受益者の生活における情緒的側面まで要素として導入し、以下の作業を支援することを目指す。

- データを結合することにより、複合インフラシステムの諸挙動に関するシナリオを専門家らが網羅的に作成し、その脆弱性・社会的影響について評価検討する作業

- 各ステークホルダーの価値観を反映した重要インフラのレジリエンス評価基準の検討
- 平常時に、構成要素の補填や体制の整備を検討する作業
- 危機対応時における、多様なステークホルダーの利害下での事業者や行政の意思決定
- シナリオライブラリーの枠となるシナリオフレームセット（要素・項目間の依存/因果関係についての仮説群で、これらを具体化することによりシナリオが収集される）の構築
- 過去事例の組み合わせによって大量の仮想災害コンテキストを共創的に作成する作業
- 重要インフラの受益者のペルソナを多数作成し、サービスシステムとしてのインフラのレジリエンスを評価する作業。また、補填すべき潜在ステークホルダー、アクターの検討

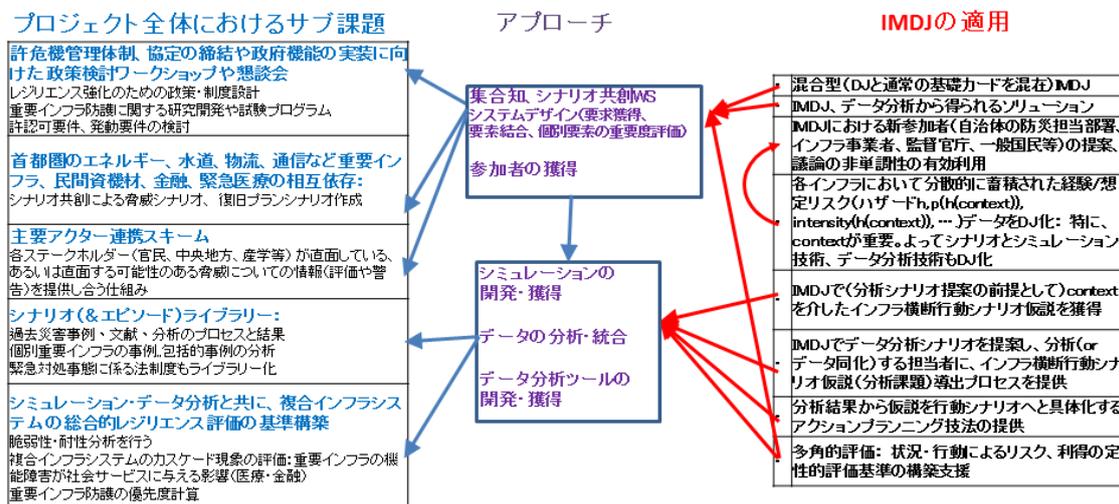


図2 本研究プロジェクトにおけるIMDJの適用意義

(4) 複合相互依存性モデリング

市民生活・社会活動のためのレジリエンス分析を行うためには、これらの活動を考慮したモデルの構築が必要となる。また、各ライフラインインフラの詳細なシミュレータが完成した際にそれらを統合するフレームワークが必要となる。そこで本課題の1年次においては、まず、「複合ライフラインインフラ」、「サービス・経済活動」、「市民生活」の3つのサブシステムを設定し、これらの中に存在する相互依存性を整理、モデル化することによって社会全体のレジリエンス評価を見据えたモデルフレームワークの構築を行った。

次に、各シミュレータの統合プラットフォームと統合シミュレーションのテストベッドを兼ねた、計算機シミュレーション用の簡易仮想モデルを開発、実装した。シミュレーションモデル開発においては2つのモデリング手法を用いたハイブリッドアプローチを採用し、各種ライフラインインフラに対してはネットワークモデルを、サービス・経済活動お

よび市民生活に対してはエージェントベースモデルを適用した。それぞれは以下のように実装した。

① ネットワークモデル

各ライフラインネットワークを格子で表現した。各ライフラインインフラに関して、リンクは電気や水といったリソースを供給する導線や導管、移動機能を提供する道路や線路、あるいは、通信機能を提供する電話線や通信ケーブルを表し、ノードは各種インフラの機能を提供する施設を配置する場所を表す。後述する復旧シミュレーションのために実装したライフラインインフラは、電気、都市ガス、プロパンガス、上水道、下水道、廃棄物処理、尿尿処理、道路、鉄道、携帯電話、固定電話、PC通信の12種類。

② エージェントモデル

シミュレーションではサービス・経済活動エージェント、市民エージェント、インフラ復旧エージェントの3種類のエージェントを実装した。サービス・経済活動エージェントは、企業、組織、サプライヤ、タスクから定義される。企業は組織で構成され、組織はタスクで構成される。サプライヤは自宅から企業へ移動し、その企業が提供するサービス・経済活動に関するタスクを行う。市民エージェントには住宅、世帯、住民が含まれる。住宅は世帯で構成される。生活行動として「冷暖房」、「ラジオ・テレビ」、「冷蔵庫」、「掃除機」、「洗濯」、といった生活基本行動15項目を扱った。また住民ごとにどの生活行動を重視するか設定できる。復旧エージェントは復旧班とその要員から構成され、破壊されたライフラインインフラのリンクを修復する。ここでは、復旧要員参集率、復旧資材確保率、現場通信確保率を考慮してある。

最後に、シミュレーションモデルを用いた復旧シミュレーションのテストを実施した。シミュレーションでは、各ライフラインインフラへの初期被害を設定しシミュレーションを開始する。復旧エージェントが用いる復旧計画を異なる目的関数のもとで遺伝的アルゴリズムを用いて準最適化し、得られた復旧計画の下でのライフライン機能、サービス・経済活動、市民の満足度の回復過程をプロットし、レジリエンスの三角形を用いた社会システムレジリエンスの簡易評価を行った。

(5) 災害コンテキストモデリング

危機対応におけるインフラ事業者や行政などの意思決定を支援する手段として、起こりうる様々な災害シナリオを可能な限り網羅するシナリオライブラリーの構築を行う。本課題での1年次においては、これに先だって、災害看護を例題にシナリオの核となる災害コンテキストのモデル化を試みた。

まず、過去の災害訓練シナリオや災害事例、災害体験の手記などを定性的に分析、検討し、災害コンテキストを構成する重要要素として、「災害状況」、「タスク」、「制約」の3つを抽出した。ここでいう災害状況とは、災害下における物や人の状態や様相を記述したものの集合を、タスクとは、災害状況下においてなんらかの目的を達成するために行う行動や一連の行動のことを指す。また、制約とは、タスクの達成や遂行の障害となるものを指し、ある災害状況下においてあるタスクを遂行しようとした際に発現する。よって、災害状況とタスクとの関連によって定義される。さらに、抽出した3要素のうち「災害状況」と「タスク」に関して、それらを詳細に記述するための要素モデル設定し、それに基

づく拡張を行った。「災害状況」に対してはサービス工学の分野で提案されたサービスコンテキストモデルを用いた拡張を行った。「タスク」に関しては、災害医療・看護のタスクを包括する CSCATTT (Command, Safety, Communication, Assessment, Triage, Treatment, and Transportation) と呼ばれるフレームワークを用いて拡張を行った。これらの要素モデルは対象によって適切な既存モデルを選択すればよい。

次に、構築したそれぞれの要素モデルをデータモデルとし、要素抽出の際に用いた資料に含まれる災害状況、タスク、制約を記述、蓄積することによって簡易の災害コンテキストデータベースを構築した。このデータベースはシナリオライブラリー構築のためのシナリオのパーツを格納したものである。

最後に、構築したデータベース内のデータを組み合わせることによって半自動的に仮想のコンテキストを作成するソフトウェアプロトタイプの開発を行った。ユーザーが必要最小限の災害状況パラメータ（例えば、対象となる病院の情報など）とそこで行うタスクを選択すると、ソフトウェアは残りの災害状況パラメータを自動的（ランダム）に設定し、作成された仮想状況とタスクの関連から起こりうる制約を制約データベースから検索し提示する。また、作成された仮想コンテキストを文章で出力する機能の開発も行った。開発に当たっては、災害看護を専門とする看護師にデモ、ヒアリングを行うことで、モデルの網羅性や完全性の評価、開発したプロトタイプの有用性評価を行うとともに今後の開発に対するフィードバックを得た。

（６）緊急処理事態に係る法制度の現状分析と課題の構造化

わが国の緊急事態への対処に係る現行法体系を整理したうえで、多様なハザード・脅威が存在する社会状況、東日本大震災・原子力災害を経験したなかで顕在化した及び指摘された法制度上の問題点、および緊急事態への前・中・後における法的に準備すべき事項について、内閣府等での検討会や産業競争力懇談会との共同研究会での議論および文献資料等から洗い出す。

（７）危機管理機能の組織制度設計

わが国および米国の危機管理体制の現状を調査するとともに、東日本大震災・福島原子力災害への対応で指摘された点について文献等に基づき調査、整理する。これらの結果を踏まえ、今後の危機管理機能を高めるうえで考えるべき事項を洗い出す。

（８）海外訪問調査

重要インフラ防護に関する研究を行っている米国サンディア国立研究所の NISAC (National Infrastructure Simulation and Analysis Center)、代替エネルギーについて研究を行っている米国ローレンスバークレー国立研究所に訪問調査を実施した。

さらに、欧州の Deans Forum 参加大学で重要インフラ防護研究を行っているロンドンインペリアルカレッジ交通工学研究センター、スウェーデン王立工科大学交通科学科、ミラノ工科大学経営経済産業工学科への訪問調査を実施した。

3 - 3. 研究開発結果・成果

(1) 関東圏の電力・ガスシステムのモデリング

電気学会 EAST30 機標準系統を元にモデリングを行った、関東圏の電力基幹系統(500kV、275kV の高圧送電線) ネットワークモデルを図 3 に示す。関東圏の火力発電所(発電ノード) は主に東京湾岸および福島太平洋岸に位置し、基幹系統は千葉県など関東圏東部において整備が進んでいることがわかる。関東圏西部、北西部は発電所が少ないため、シンプルな系統構成となっている。中圧・低圧配電系統に関する公開情報の取得が困難であるため、大容量、長距離輸送を担うこの電力基幹系統のみを考慮した分析を今後行う予定である。

天然ガスネットワークモデルは、主要高圧パイプラインの所在、天然ガス製造設備(LNG 基地等)を考慮し、図 4 の通り作成した。高圧ガスパイプライン容量は情報取得が困難であるため、ガス工場の生産能力や各ノードのガス需要を元に設定する。また、都市ガス需要は、各地域の都市ガスやLPガス普及比率を考慮し設定した。図 2 より、関東圏の高圧ガスパイプラインは、関東圏東部において整備が進んでいるが、都市ガス普及率が低い関東圏西部、北部においては、都市ガスインフラ開発の余地が存在することが分かる。平成 25 年度はこれらの情報にさらに分散型電源を考慮した簡易的な需要家モデルを統合し、関東圏のエネルギー需給の予備的評価を実施し、インフラ整備度合いの低い地域で補完的に CGS が導入されることを確認した。平成 26 年度は、平成 25 年度にモデリングを行ったこれらの関東圏の電力・ガスインフラモデルを元に、関東圏の最適化型エネルギー需給評価モデルを構築する。そして、電力供給途絶や天然ガス供給途絶などのリスクも考慮に入れた最適なエネルギーシステムのあり方に関して分析を実施する予定である。

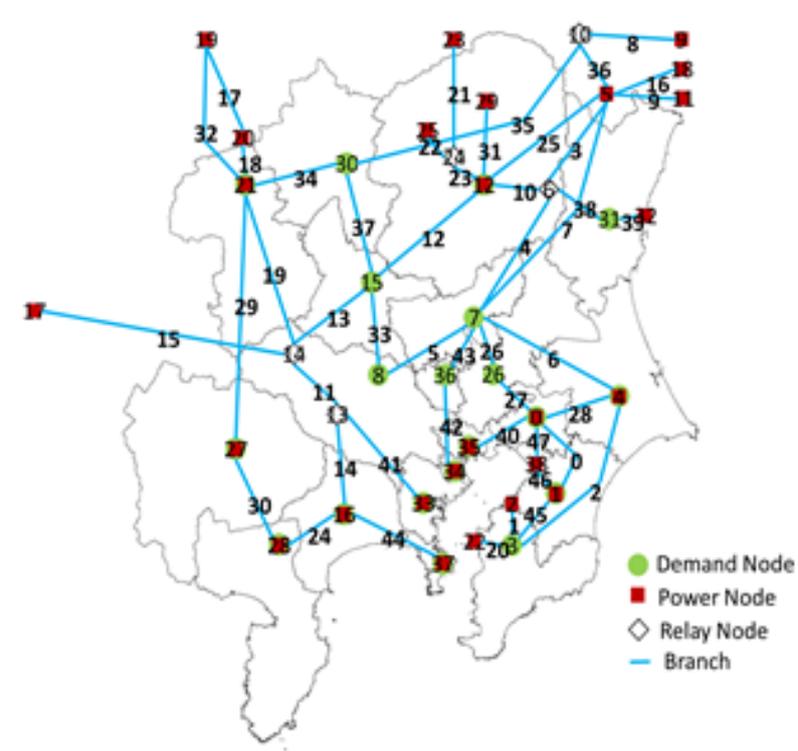


図 3 関東圏の電力基幹系統モデル

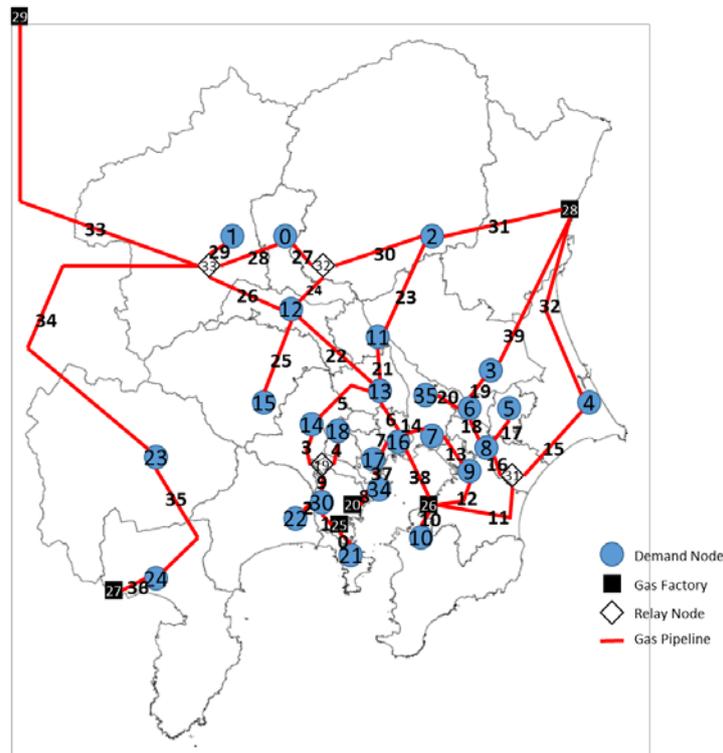


図4 関東圏の天然ガスインフラモデル

(2) 物流システムのモデリング

物流(陸上輸送)に関しては、フリーの道路データである OpenStreetMap (<http://osm.jp/>) をもとに、知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES のフォーマットで東京都区部の道路全体のネットワークデータを構築した。構築したネットワークデータを MATES で読み込んだ際のスクリーンショットを図5に示す。

OpenStreetMap の道路データは交差点の座標と隣接関係を保持しており、道路の車線数に関するデータも含まれているが、多くの箇所では整合がとれておらず、車両 GPS データの自動収集に起因すると思われる非現実的な情報も含まれている。このままでは意味のある交通流シミュレーションを実施できないため、web 上で公開されている道路写真等をもとに、手作業で図5の赤枠で示されたエリアの道路データの整備を行った。

また、大規模交通流シミュレーションを効率的に実施するための準備として MATES のボトルネック調査を行った。その結果、微視的な道路ネットワークの探索(相互接続する車線の探索)にかかる関数の呼び出しが全シミュレーション実行時間の4割近くを占めることが分かった。これは車両の経路探索中に頻りに呼び出される機能であり、今後優先して改良すべき機能が明らかとなった。



図5 東京都区部の道路ネットワークデータ

(3) IMDJ手法を用いた脅威シナリオ共創の予備検討

図6はIMDJ実施の様子である。得られたシナリオフレームは、例えば政策大学院研究者による「効果的な道路封鎖。電車、徒歩の利用。とどまり提案」が、JR乗車人員一日平均、タクシー利用状況（乗降人数や台数等）、地下鉄乗降者人員、自動車台数、主要地点の交通量、GPS（携帯）というデータを組み合わせて分析することによって可能とされた。実際、災害時の道路封鎖のためには個々人が所有する乗用車の位置だけではなく、タクシーなどの営業車から出てくる人が電車の駅やオフィスから流出する人々と合流して安全に移動する経路も確保しなければならない。この提案がIMDJで高評価を受けたのは、この交通システムの複合インフラとしての性質が考慮された結果と考えられる。

結果を分析したところ、インフラレジリエンス実現に対する参加者らの要求とこれらを満たす技術的な取り組みのビジョン、補填すべきデータがハイペースで提案されていた。又、本研究グループの各研究者が、それ以外の一般人から示される要求やシナリオフレームに意外な価値を見出す効果も見出されている。研究メンバー(A)によるIMDJから提案された15件と、一般メンバー(B)によるIMDJから提案された14件のシナリオフレームを提示して6名の研究メンバーに「新しく気づいた内容かどうか」を評価してもらった結果、1名以上が評価した10件のうち5件、2名以上が評価した4件のうち3件はBからの提案であった。また、Facebookのエントリーログなど、インフラと直接関係しないデータがシナリオフレームの提案に貢献していたことは今後のDJや参加者の収集にも役立つ知見である。

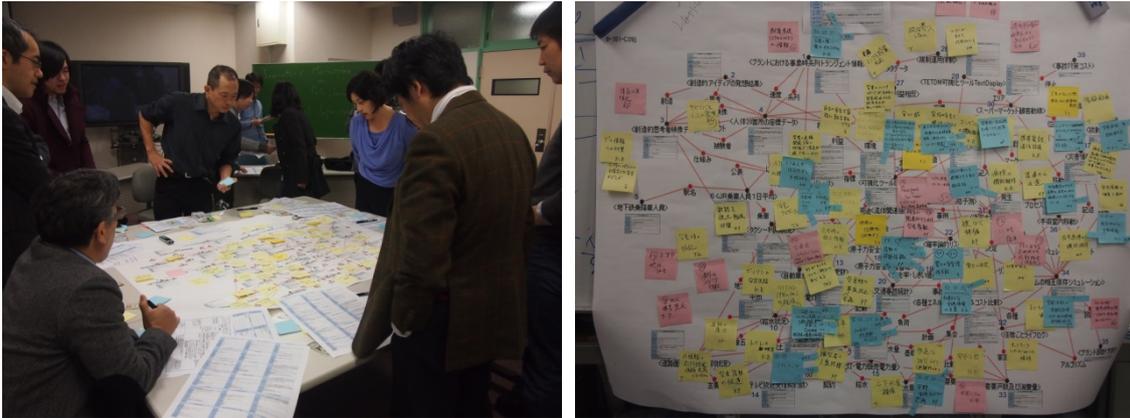


図6 IMDJ 実施風景（左）と提案が集積された最終状態（右）

（４）複合相互依存性モデリング

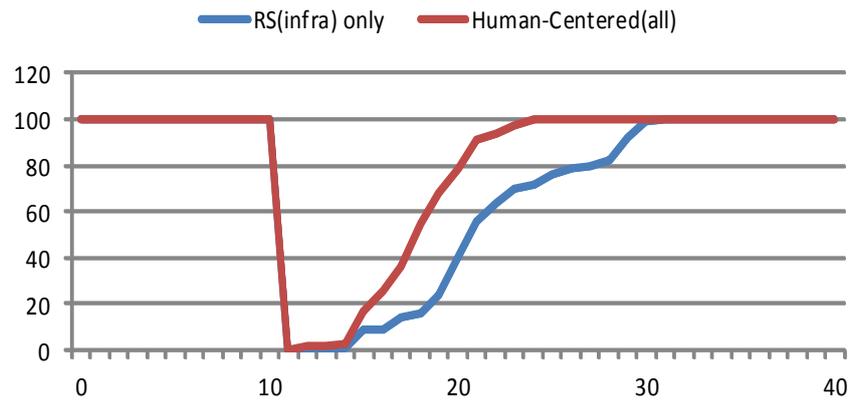
前述の簡易仮想モデルを用いて復旧シミュレーションを実施した。シミュレーション条件を表1に示す。レジリエンス評価指標としてシステムインパクト（ $SI = \text{インフラ復旧度} \times \alpha + \text{サービス達成度} \times \beta + \text{生活充足度} \times \gamma$ ）を用いた。重みの割合によってどの項目をどの程度重視するか設定できる。図7にシミュレーション手順を示す。復旧計画策定には環境分散並列遺伝的アルゴリズムを用いた。システムインパクトの重み（ α, β, γ ）を変えて復旧過程を比較した。結果を図8に示す。右図はサービスの復旧過程を、左図は住民の生活充足度の回復過程をプロットしたものである。青色のグラフは最適復旧計画を策定する際にインフラの復旧速度のみを考慮した場合を、赤色はサービス達成度や生活充足度も考慮した人間中心視点での回復過程を表している。いずれの場合も、赤色で示された人間中心視点を考慮した復旧が早く、レジリエンスの三角形も小さいことが確認された。以上から、復旧計画策定や社会システムのデザインにおいては人間中心の視点が重要であることが示唆された。

表1 シミュレーション条件

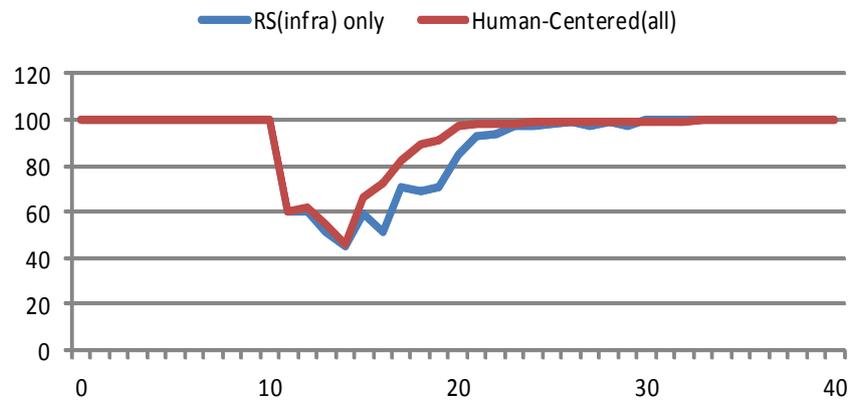
ライフラインネットワークサイズ	5×5（リンク）（×12種類）
住民エージェント	300（70世帯、25種類日常行動）
サービスエージェント	300（150タスク）
復旧エージェント	180



図7 シミュレーション手順



(a) Service Recovery



(b) Satisfaction Recovery

図8 シミュレーション結果

(5) 災害コンテキストモデリング

災害看護を具体的な例題とした災害コンテキストモデルの構造について検討、災害コンテキストモデルを構築・評価した。構築したコンテキストモデルの概要を図9に示す。右図はモデルの概念図を左図は具体的に仮想コンテキストを再構成した際の出カイメージを

表している。図に示すように災害コンテキストをパーツごとに分けて整理、データベース化することによって、仮想的な災害コンテキストの再構成が容易になる。

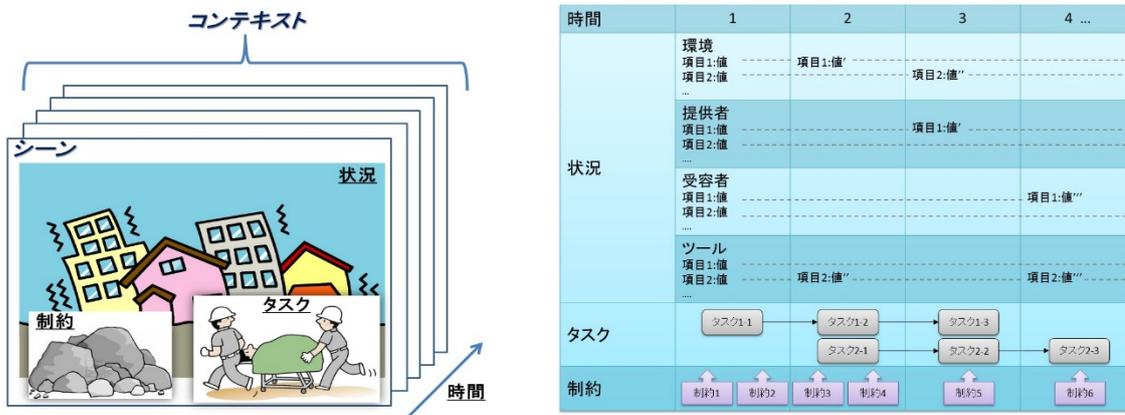


図9 コンテキストモデルの概念図

このような災害コンテキストモデルを利用した知識抽出や訓練シナリオ作成支援等について、災害看護に関心のある看護師4名を対象に、その実現可能性や有用性の評価を行った。社会技術システムの定性評価手法に倣い、まず、図10に示すような、コンテキストモデル利用による影響シナリオ（因果ネットワーク）を作成し、これらのネットワークの各リンク（因果）について3段階評価（+1, 0, -1）を行った。図中の数字は各リンクに関する評価の平均を表している。知見の蓄積と再利用に関して比較的高い評価が得られた。そのほか、災害を俯瞰する視点として有用であるなどといったコメントが得られた。

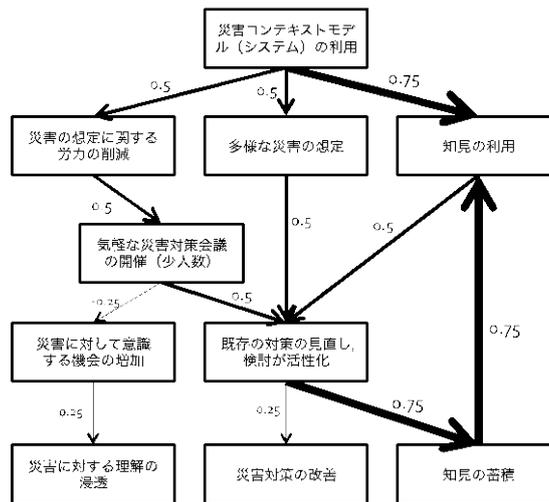


図10 モデル利用に関する想定シナリオに関する評価

（6）緊急処理事態に係る法制度の現状分析と課題の構造化

我が国の緊急事態対処に係る現行法体系は、有事への対応と大規模災害への対応から成り、大規模災害の経験や今後起こる恐れが予測される脅威などを踏まえて、緊急事態の起因事象となるハザードや脅威の種類ごと、いわゆる災害類型に応じて追加、整備されてきている。

① 「緊急（対処）事態」に関する規定

現行の日本国憲法には国家緊急権に関する規定は存在しない、と考えられているが、現行法体系では個別法に、いわゆる「緊急事態」が定義されている。例えば、国民保護法の「緊急処理事態」、災害対策基本法（以下、災対法と略す）では「災害緊急事態」、警察法の「緊急事態」などがある。また、平成16年5月の民主党・自民党・公明党の3党合意である「緊急事態基本法案」においては、“対象とする事態（「国家緊急事態」）は、我が国に対する外部からの武力攻撃、テロリストによる大規模な攻撃、大規模な自然災害等の国及び国民の安全に重大な影響を及ぼす緊急事態”と定義されている。

憲法に国家緊急権に関する規定がないことについては、緊急事態が発生した場合に対応措置を講ずることは国家の「不文の原理」であるとする見解、国家緊急権に関する規定の不存在は法の不備であるとする見解等、見解の対立があり、内閣憲法調査会や衆議院憲法調査会や各政党で、有事関連法制の制定過程そして東日本大震災以後も、国家危機管理のあり方の論点のひとつとなっている。国際法では「緊急事態」という概念は個別的・集団的自衛権に該当する。現在、安倍政権による安全保障法制整備における集団的自衛権の行使容認についての憲法解釈に関する議論を今後も注視する必要がある。

② 東日本大震災および福島第1原子力発電所事故からみた課題・論点

a) 災害対策法制全般について

まず、災害対策法制の基本的な部分についての主な問題点として以下のことが挙げられる。

- 1) 災害救助法は制定後約60年以上、災対法も制定から50年を経て、社会的状況は大きく変わっているが、当時の考え方が基本的にまだ残っている。
- 2) 災対法の特徴として、国民の権利義務に関わるような詳細な規定を置いている裏返しとして、「基本理念」「基本的施策」という表現が用いられていない。
- 3) 優越的性格、指針的性格を持つ通常の基本法と違い、母法的機能が与えられていない。
- 4) 大規模広域災害への対応は、国が権限を発動する「国民保護法型」、従来の自治体の役割の延長線で権限を調整する「権限調整型」の2つが理念的に考えられるが、国の役割についての議論が必要である。

次に、実務的な面からみた主な問題点としては以下のことが挙げられる。

- 1) 災対法は災害復旧に関する規定が4か条（公共施設の復旧が中心）あるだけで、実質的な規定がないに等しい。
- 2) 災害復旧計画も災害復興計画も根拠規定があるわけではない。
- 3) 災対法と消防法や自衛隊法のような個別法との中間的なところがないため、実質的な部分が災対法の中に組み込まれてしまっている。これは日本の防災体制そのものをどう組むのかといったことも絡んでくる。

4) 災害救助法に関わる部分を災対法の中でどこまで規定するのか。

以上、災害対策法制については将来の社会像も視野に入れ、現実に即し、基本的な部分と実務的側面から法体系を再吟味、再構成する必要があるのではないだろうか。

b) 災害緊急事態の布告とその効果について

東日本大震災では災対法第105条に基づく「災害緊急事態」の布告は可能であったが、布告はされなかった。また同法第28条の2に基づき「緊急災害対策本部」が設置されたが、同法適用による、国による救援・復興に要する物資の生産・輸送等の民間企業への強制措置や著しい供給不足の生活必需物資の売買制限や債務支払い延期といった政令による措置はとられなかった。同法107条は過去発動されたことがないが、どのような事態を想定しているのか、明確でない。また原子力災害対策特別措置法には、福島第1原発事故で宣言された「原子力緊急事態宣言」があるが、これは災対法に対する特別措置を設け、官邸の関与できる範囲を強化するもので、事故対応に関連してくる各種法律に対する柔軟な運用を許容するものではなく、不十分なものである。

今後の大規模複合災害やカスケード的に大規模な被害に進展する事態が予見される場合、国家として災害緊急事態の発動を如何に行うか、法的要件を検討する必要がある。

c) 緊急措置の範囲、行政の権限について

現行法における災害緊急事態における緊急措置の範囲は経済的措置等に限定されているが、緊急事態により損なわれる可能性のある市民生活および社会経済活動を支える社会の重要な機能の確保・維持に係る範囲へ拡大することの必要性について、東日本大震災で緊急に法的措置がとられた事例を検証したうえで検討する必要がある。

緊急時の対応では、行政が民間事業者等に要請して協力を得ることが基本となっている。行政が要請をこえて強制力をもって民間事業者等に対して（必要な）措置を講じるとされている場面において、その根拠法は平時の許認可・命令権限に求められている。すなわち、緊急時における行政の権限と平時におけるそれとの弁別が行われていない。この点については③で述べるように官民連携の下、東日本大震災での状況を検証することが喫緊の課題である。

d) 国と地方、広域連携のあり方について

現行制度では、災害対策に係る事務や権限、財政負担は市町村による対応を基本とし、災害の規模に応じ、それを都道府県が補完し、必要に応じ都道府県を国が補完する仕組みであるが、市町村・都道府県が機能を喪失するような緊急事態への対応を検討する必要がある。特に、破局的な事態が想定される場合には、地方自治体からの要請に基づき行動するプルシステムでの活動ではなく、国による迅速な主導的なプッシュシステムを採ること、また大規模広域災害における自治体間連携、水平的な補完に関する規定の必要性も検討する必要がある。

③ 緊急事態対応への法的な準備すべき事項

行政機関の業務（例えば危険物や薬品、医療行為に係る許認可業務等）や民間の経済活動、サプライチェーンの一部を構成する行政機関の業務（例えば通関業務や車両検査業務等）は緊急事態発生時の応急・復旧活動、その後の事業復旧・継続の迅速化・円滑化で障害になることがある。東日本大震災では燃料の確保や通行規制の問題などが顕在化した。

例えば、緊急車両の取扱いに関連して、緊急車両確認証明書や通行標章の発行に地方自治体間でばらつきが生じる等の混乱が起きたことも指摘されている。災対法上規定はあるが、平時からその運用方針の明確化と民間事業者との共有化が必要である。その他、被災地応援に際しての車両の移転手続き（国交省）、積載量制限等のタンクローリーに係る規制（消防庁、警察庁、国交省）、規制未対策ディーゼル車の通行規制（環境省）、特殊車両の一般道移動（国交省）、自動車運転手の勤務時間や労働条件等の労働法制に係る規制、添加剤未添加の軽油製品の出荷および流通経路変更（経産省）、被災SSの早期再開（消防庁）、被災地支援物品の商品表示（農水省、消費者庁）といった、平時の取扱いが緊急事態では重い負担となる問題が顕在化した。

今後、首都直下地震等への対応にあたり、緊急事態で障害となりうる法令・規制等をリストアップし、災害発生時の運用の明確化、要件緩和等の検証と見直しを官民連携の下、加速する必要がある。

（7）危機管理機能の組織制度設計

① 米国および日本の危機管理（体制、機能）の状況

米国では、国家の国土安全保障戦略の下、国土安全保障大統領令（HSPD-5, -7, -8）で規定された国家計画に基づき、危機管理（予防、防護、対応、復旧、準備）に関して共通的アプローチが採られている。米国における危機管理法制の歴史的変遷については割愛するが、危機管理体制は2001年同時多発テロ事件以降大きく変化、2002年11月の国土安全保障法の制定により、FEMAを含むテロや災害対策に関わる連邦政府の8省庁・22機関の機能および組織の集約により2003年1月国土安全保障省が設立され、危機管理の一元化が図られた。しかし2005年ハリケーン・カトリーナへの対応の教訓、国家計画レビューを踏まえ、2008年に大きく見直され、現在に至っている。

現在の危機管理の中核をなすのが国家対応枠組み(NRF)で、1) 協力関係を確実にする、2) 段階的な対応、3) 拡張性と柔軟性と適応性ある運用能力、4) 統一的な命令系統に基づく統合した取り組みの実行、5) 即応能力、を原則としている。そして、NRFの核が国家事態管理システム(NIMS)で、米国内で発生するあらゆる緊急事態に対して、連邦政府、州政府、地方自治体、民間企業、NGOなどが効率的かつ効果的に対応できるように構築された危機管理の枠組み（テンプレート）で、柔軟性と標準化の適正なバランスを重視している。NIMSは、準備、コミュニケーションと情報管理、資源管理、命令と管理、進行管理と維持の5つの要素から構成される。命令と管理では、非常時指揮システム（ICS）複数省庁間調整システム(MACS)および公共情報システムを統合されている。ICSは、応急対応における明確な任務の設定、通信システムの統一、指揮命令系統の統一、用語の共通化、組織機能の標準化等を行い、互いに異なる複数の組織・機関が有する人・資源を1つの標準的な組織構造に統合し、緊急事態に対して迅速かつ効果的な対応するための枠組みである。緊急事態の現場で連携する組織・機関が相互に自らの法的権限を損なわずに、緊急事態の複雑さや緊急事態に必要な資源等に応じて、統合的な組織機能・構造を設定することが可能で、その内部組織の構造化において非常に高い柔軟性を備えている。MACSは、多様な組織や管轄間の資源と支援を調整するため、1) 危機管理政策と優先順位付けの支援、2) 後方支援と資源追跡の簡易化、3) 資源配分優先順位付けの判断、4) 危機に関する情報の調整、

5) 危機管理政策、優先順位、戦略に関する組織間・政府間の行動の調整、という機能をもつ。

その他、危機管理能力の確保に関連する重要なものとして、国家準備ガイドライン(NPG)と緊急事態援助機能(ESF)が挙げられる。前者は国家に甚大な被害をもたらす15のシナリオを基に、連邦政府・地方政府・NGO・民間団体等の対応者のレベルに応じた1600のタスクと災害対応で有すべき37の中核的能力とその目標水準が示されている。後者は国内事態への対応において、連邦政府の人員、設備等の資源と対応能力を、最も頻繁に必要とされる各種の機能に分類し組織化させものである。そこには特定の民間機関と非政府団体も組み込まれる。ESF(交通、エネルギー、公衆衛生・医療サービスなど15分野)においては、当該支援機能確保の主管省庁・機関、支援省庁・機関そして調整担当省庁・機関が定められている。これは国家事態管理システムの分類と一致している。

一方、我が国の危機管理体制は内閣官房の内閣府危機管理鑑(政治任用)が統理することされており、内閣安全保障局長と密接に連携することが必要とされている。しかし、危機管理機能の観点からみると、災害対策法制の現状でも述べたように、米国のような体系化と標準化がなされているとは言い難い。

② 東日本大震災および福島第1原子力発電所事故からみた課題・論点

東日本大震災では多くの問題点が観察されたが、1) 政府を始め地方自治体に大規模災害対応に関する包括的で現実的な計画を欠いていた、2) 経験豊富で訓練された災害対応専門家を欠いていた、という点は今後の危機管理を考えるうえで重要である。前者により、現場では複数に亘る機関の活動を調整するために、災害対応のなかで、自分たちに合った独自の災害管理システムを作り出さざるを得ず、また改善を求められた。また現在、将来の災害に備え、様々なセクターや組織で独自の災害対策計画の策定が進められているが、これは将来の災害において混乱に拍車をかける可能性がある。ただし政府がこれらのセクターや組織と協働し、包括的な対応計画を策定するならば、対応能力は格段に強化される可能性が高い。

③ 危機管理機能を高めるうえで検討すべき主な事項

東日本大震災における経験や米国の危機管理体制などを踏まえたとき、以下のような点を検討していくことが必要と考える。

a) 災害から学んだ教訓をフィードバックするシステムを構築すること。

政府は細部に拘わらず、包括的に問題解決に取り組むため仕組みを検討する。

b) オールハザードを対象とし、政府全体による包括的な対応計画を策定すること。

ハザードや脅威の種類ではなく、結果に着目し、災害対応の機能ごとに着目したアプローチに変更するとともに、米国 NRF の緊急事態援助機能 ESF のように緊急事態対応で要する各機能(政府機関の人員、設備等の資源、対応能力)を分類し、その機能確保の主管省庁、支援省庁、調整機関を定め、政府機関全体での対応とする。なお、重要インフラ事業者や JMAT などの特定の民間組織・非政府組織も組み入れたものとする。

c) 米国 NIMS のような国家事態管理システムを導入すること。

緊急事態における意思決定の遅延や情報の錯綜を避けるには、最前線の現場に意思決定権限を委譲し、政府や地方自治体は支援に徹する。関与する組織および人の役割・責任、

手順を明確化する。また、現場対応の組織は、現場指揮官の監督限界も考慮し、必要以上に大きくせず適正な規模にする。調整コストを最小限に抑えるという視点が重要である。

大規模な災害対応は大規模な管理を要する複雑な作業であり、時間が重要な資源である。緊急時対応活動の有効性は関係者間での「況認識の統一 (Common Operational Picture)」を実現できる (多次元) 情報システムと柔軟なコミュニケーションに依る。情報の収集、管理、共有を可能とし、現場の需給を把握し支援する。

あらゆる緊急事態に共通する非常に基礎的な部分のみ標準化し、現場に自律的権限を与え、その他の事項は臨機応変に現場で考える。緊急事態対処に要する施設設置および現場作業計画の様式は標準化する。

d) 政府・地方自治体は、あらゆる部門に高度の訓練を受けた緊急時対応管理者 (専任) を配すること。危機管理対応最高責任者は必ず豊富な経験と知識そして指導力を有する人材を登用すること。

政府機関・地方自治体・重要インフラ事業者・非政府組織等の緊急時対応者および管理責任者のための教育訓練カリキュラムの策定、訓練施設の整備、教育訓練の実施とともに資格認証制度を設ける。

e) 国家リスクアセスメントを実施すること。

セキュリティとレジリエンスを強化するにあたり、国家としての準備力を支える中核的能力の同定と能力目標の開発での活用、防止・保護・緩和・対応・回復での要求事項に係る戦略的なニーズについての協働的思考の醸成、政府の全てのレベルでの脅威・ハザード・リスクに関する共通の理解と認識をもつため能力の促進、に活用する。

(8) 海外訪問調査

① 米国サンディア国立研究所 (SNL)

訪問部署: NISAC (National Infrastructure Simulation and Analysis Center)

訪問日時: 平成26年2月20日 (木) 8:30-12:00

訪問者: 谷口、菅野、小宮山

対応者: Daniel J. Press (Program Leader), Graig S. Gordon (DHS, Program Manager), Kevin L. Stamber, Mark Elen, Leo Bynum, 他1名

NISACはDHS (Department of Homeland Security) の重要インフラ防護に関する分析・評価研究プログラムでSNLとLANLのメンバーから構成されている。今回の訪問では、主にSNLで開発されているFASTMapとN-ABLEに関する紹介を受けた。

FASTMapは典型的なWEBベースのGISソフト(FLEX+ArcGIS)で、道路、電気、水道、パイプラインといった重要インフラネットワークや病院等の重要施設に関する情報のデータベースとリンクしている。インタフェース上でコメント入力・編集機能や被害想定・状況のオーバーレイ、簡易リスク評価機能があり、災害時の他組織間での状況認識共有を支援する。データベースには全米に渡るインフラ情報が格納されている (これらのデータには国のサポートで関連機関から提供されたもの (70%程度)、購入したもの、手動で収集したものが含まれる)。データの網羅性は高いが、詳細なシミュレーションや評価を行うために十分 (量・質ともに) なデータが得られているわけでは必ずしもない。また、これ

らのデータの管理・更新は依然大変なタスクであり、そこがシステムティックに行えてはいない。

N-ABLE は、エージェントベースモデルを用いたシミュレーションツールで、ケミカルサプライチェーンと食品サプライチェーンにおける災害等の外乱の経済的影響を評価するツールである。各化学プラントは IPO (Input-(Process)-Output) フレームワークでモデル化されており、(おそらく、業界の IPO 関連の実データ) データベースとリンクしている。想定ダメージや外乱シナリオを設定(道路・鉄道閉鎖や工場、パイプラインの被害等)し、サプライチェーンへの影響およびマーケットへの影響をシミュレーションする。データドリブンなモデリングがどのように行われているか、リンクされているデータの integrity がどの程度かは不明だが、災害下での受容量の変化まで考慮したものではない。

両ツールに共通して、妥当性が不十分なシミュレーションをどのように使うべきかについては、すくなくともメンタルモデルによる意思決定が不可能な複雑システムに関しては有益(ほかに術が無い)と考えている。後知恵でモデルの精度を上げることは重要だが、危機対応における意思決定では予測することがもっと重要である。また、モデル化の過程で専門家の洞察を得ることができる。

② 米国ローレンスバークレー国立研究所 (LBNL)

訪問日時：平成26年2月21日(金) 13:30-15:30

訪問者：谷口、菅野、小宮山

対応者：Chun Chun Ni, James Lutz, Michael McNeil, 他1名(電話)

LBNL はこれまで緊急時対策として有用性のある省エネ技術の評価レポートとし”Achieving Extreme Efficiency: How to get the job done when energy is extremely expensive and scarce”、”Max Tech and Beyond、 Maximizing Appliance and Equipment Efficiency by Design”を発刊している。LBNL では、エネルギー供給の厳しい環境下や、エネルギー供給途絶時においてもエネルギー確保が至上命題となる施設や地域(軍事施設、災害対応拠点、へき地、孤立系統地域、病院やその他の重要拠点)におけるレジリエンス向上に資する省エネ技術の価値、効用に関して分析を実施している。例えば、エネルギー供給途絶リスクや緊急時の重要サービス提供を考慮に入れれば、たとえコストが高くても、通常技術よりも80%~90%ものエネルギー消費を削減しうる超省エネ技術は、経済合理性を有する可能性があるとしている。またこのような超省エネ技術と、燃料備蓄、バッテリー、再生可能エネルギーと組み合わせることにより、よりリスクに対して強固なシステムが構築できると分析している。

また特に、照明、空調、給湯、調理、清掃、電子機器、ポンプ、モーターの分野の超省エネ技術に関して分析した。分析の結果、これらの技術において、既存、実用化段階および研究開発中の要素技術を利用すれば、50%~90%の省エネが物理的に可能であることが示されている。特に分野横断的な技術、例えば、照明、ヒートポンプ、電力マネジメント技術、可変速技術、センサー技術、高効率モーターが省エネを実現する上で有効であると思われる。緊急時の省エネ技術の市場規模は非常に小さいと考えられるが(ニッチ市場)、通常用途にも利活用できるように工夫すれば、普及が進むものと考えられる。

後者のレポート関連では、LBNL では究極的な省エネポテンシャルを評価するため、家庭、業務、産業部門の省エネ技術のベストプラクティスを調査、分析を行った。150タイプの技術に関して分析を実施し、特に国全体の省エネへの貢献度の高い上位50タイプの技術

に関しての分析をレポートにまとめている。分析の結果、特に、照明、電気給湯器、集中型空調機、ポンプ、ガス暖房機、テレビにおける省エネポテンシャルが大きいことが分かった。その中でも分野横断的技術は普及可能性が高いことから、センサー技術を含めた高効率照明、電子機器、ヒートポンプ、可変速機、ポンプやファンを制御する電力マネジメント、直流時期回転子の応用が有望である。また、先進技術の中では、有機LED技術の活用による大規模な省エネ実現が期待される。

③ インペリアル・カレッジ・ロンドン (ICL)

訪問部署：Center for Transportation Studies (CTS)

訪問日時：平成26年3月14日（金） 13:30-15:30

訪問者：古田、菅野、小宮山

対応者：Dr.Panagiotis Angeloudis, Prof.Washington Yotto Ochieng

英国でも様々なシステムのレジリエンス強化は重要政策として認識されている。自然災害、テロリズム、気候変動への対応強化が特に重要と位置づけられている。英国のCOBRA (Cabinet Office Briefing Room) は、国内外の緊急時に英国政府が臨時に設置する組織であり、そこで首相を中心に緊急時対応を講じている。

ICL-CTSの研究グループは日本の大学とも高速道路等重要インフラの脆弱性評価を行っている。最近では救急車による傷病者搬送など緊急を要する交通サービスを包括的に考慮したモデル開発に関心を持っている。社会機能の維持計画を詳細に分析可能なモデル構築は困難であるため、まず2地域のみを対象にして、ペトリネットを用いたシンプルなモデル開発に取り組んでいる。

イギリスにおいても電力流通ネットワーク、水道など重要インフラの詳細データは公開されておらず、これらのデータ入手は困難である。そのため、重要インフラ間の複雑な相互依存性を横断的にネットワーク分析できる詳細なモデル構築は難易度が高い。インフラ間の相互依存性 (connectivity architecture) のモデル化手法が鍵となる。まずは、相互依存性を容量やフロー等の重要パラメータでの問題の抽象化、モデル化に関する検討が重要である。

現在、ペトリネットとマルチエージェント手法に基づき、危機事象発生時における交通機関での事故影響の波及効果、回復過程を分析している。具体的には過酷な気象事象がロンドンの地下鉄運行に与える影響を分析している。運行系統の管理機能の喪失がシステム全体に致命的影響を与えることが分かっている。ICLも重要インフラ間の相互依存性分析に大きな関心を持っており、将来適宜協力することを望んでいる。EUの国際共同研究の資金獲得申請も考えられる。

最近、イギリス南部での洪水により鉄道の交通サービスが停止し、社会経済上の大きな影響があった。そのため、社会インフラのレジリエンス強化が強く認識されている。相互依存性の分析に際して、インフラという物理的対象と、サービス需要の元となる社会行動を分離してモデル化する事が望ましいと考えている。ICLでは、レジリエンスのモデル分析を社会的意思決定や政策に生かした実績はまだなく、当方もモデル分析を通じた社会貢献方法を探している最中である。道路、鉄道、海上輸送における救急搬送等の緊急サービス、災害時の輸送計画 (disaster logistics) をモデル化し最適化するには、災害発生確率の設定方法が鍵となる。モデル分析結果の妥当性検証も本研究分野の重要課題である。例えば地下鉄の分析に際して、ロンドン、東京、ニューヨークのデータによるモデルの相互

検証 (cross validate) も考えられる。欧州のレジリエンス分析では現在、EU や保険会社をスポンサーとして、気候変動による破局的災害事象の社会的影響評価について精力的な取り組みがみられる。

④ スウェーデン王立工科大学 (KTH)

訪問部署：Department of Transportation Science

訪問日時：平成26年3月17日(月) 9:30-15:30

訪問者：古田、菅野、小宮山

対応者：Prof.Lars-Göran Mattson, Prof.Torbjorn Thedeen, Dr.Erik Jenelius,
Mr.Torkel Werge, Dr.Per Nasman, Mr.Per Angskog, Mr.Ben Oakes,
Dr.Patrik Hilber, Dr.Mathia Ekstedt

レジリエンス分析に際して、破局的な事象をもたらす経済的影響評価にも関心がある。1991年にKTHで設立された“Center for Safety Research”では、エネルギー、交通、重要インフラの3分野のレジリエンス分析を実施している。エネルギー分野ではダム式水力、原子炉、放射性廃棄物の安全管理、交通分野では道路交通、鉄道交通、航空交通、重要インフラでは道路交通ネットワーク、電力系統に関して研究を行っている。危機事象は自然災害、ハッキング、組織的ヒューマンエラー、テロリズム等である。スウェーデン全体の道路交通網のレジリエンス分析を実施している。分析に用いる道路交通データは、ODデータ(Origin-Destination)などを元にKTHで作成している。1000人程度のアンケート情報を元に加工している。ODデータは旅客では取得しやすいが、貨物は取得が困難である。携帯電話、GPS等を活用した位置情報、運転時間等のデータ取得の可能性について現在、検討を進めている。

交通分野ではストックホルムの公共交通(バス、地下鉄、LRT)のネットワーク分析を進めている。Bus Mezzoモデルや、動的かつ確率的な公共交通シミュレーションモデルをこれまで構築している。LRT(Light Rail Train)でのリアルタイム交通情報の適用可能性に関して分析を行った。リアルタイムな交通情報が消費者で利用可能になった場合、それらが利用可能でない場合に比較してより混雑が発生し、消費者効用が減少するという逆説的結果がシミュレーション分析結果として得られている。リアルタイム情報が利用可能な場合、特定の他のインフラに負荷が集中するため、かえって消費者効用が減少する逆説的影響が結果として得られた。

KTHのリスク分析では、信頼性工学、PSA分析、多重回帰分析等の手法を用いて、電気工学や化学分野等で研究を実施している。リスク分析結果の社会的実装に関してはKTHでは、哲学や心理学の専門家に協力を仰ぎ検討している。さもないと世論を納得させることは難しいと考えている。電磁場のリスク分析も実施している。電磁妨害波への耐性向上が重要であり、1990年代から軍事部門、近年では民生部門で認識されつつある。専門的知識を必要とせず簡単に実行できるため、警察や銀行部門等での対策強化が急務であると考えている。

またスウェーデンでは水道施設や携帯電話関連施設等の破壊工作に備えた安全性強化も重要であり対策強化が急務である。レジリエンスの分析ではこれまで様々な分析手法が混在している状態であり、統合評価が難しい。実態からして単一の手法や理論に依拠すべきではないが、分析全体の整合性確保が難しい状況にある。単一手法での成功例はバルト海での海洋生物資源管理や森林管理だけであろう。電力分野ではSwegridsプロジェクトが

3年間を期限に進行中にあり、大学所属の30人程度の研究者（大学院生含む）と企業が、材料、エネルギー貯蔵、スマートグリッド等に関して研究を行っている。スウェーデンでは電力インフラ老朽化等により、電力システムの信頼性評価が重要な課題である。15万世帯を対象にした模擬システムを用いて、風雪下での平均停電時間の予備的評価を実施した。とくに、強風と雪が同時に発生する場合、停電時間が大きく上昇する傾向がみられた。

サイバーセキュリティ研究についても精力的に実施している。電力会社は大量の電気・電子機器(変電所等)による制御情報を元にシステム管理を実施しており、情報アーキテクチャの構築、情報セキュリティ強化も重要な課題である。電力システムの監視制御とデータ収集

(SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition) に関してこれまで研究を行い、サーバーセキュリティ評価のモデリング言語 CySeMol 開発を通じて、システムへの妨害工作の動的な影響評価とビジュアル化を行い、システムの脆弱性評価を実施した。妨害工作、SCADA 分析、電力システムへの影響、社会コストへの影響を総合的に評価可能である。

⑤ ミラノ工科大学

訪問部署：Department of Management, Economics, and Industrial Engineering

訪問日時：平成26年3月19日（水）10:30-13:30

訪問者：古田、菅野、小宮山

対応者：Prof.Paolo Trucco, 他3名

Prof.Trucco の研究グループでは、管理工学、経済、産業プロセス管理を主に研究しており、個別研究テーマは10項目から成る。最近では危機事象に対する重要インフラの保護策に関するシミュレーション分析を実施している。KTH とも危機事象影響評価に関して、共同研究を実施している。

危機事象に対する脆弱性の評価指標の作成や、動的な社会影響評価が重要であると考えている。短期、長期で社会行動が変化するため、分けて考える必要がある。危機事象の影響評価に際しては、特定の危機事象に対して様々な組織が対応するため、分析結果がどの主体にとって意味があるのか、十分に考慮することが重要である。

データとモデルの整合性確保も重要である。データに合わせてモデルを作成するのか、モデルに合わせてデータを収集するのか検討が必要であり、電力システムやガスパイプライン等の重要インフラの物理データ収集や、現実の交通流のデータ収集は難しい。分析結果の解釈に際しては、目的関数被害（損失最小化など）を満たすための資源配分が実現可能かどうか検討する必要がある。資源配分は、サービス投入量の実行可能性とサービス内容の実行可能性を考慮する必要がある。危機事象の影響評価を行うに当たり、様々な社会機能の回復過程を考える上で、機能回復支援の優先順位(病院機能の維持、トリアージュなど)を考えることも重要である。

これまで地下インフラのデータ作成とそれらの相互依存性を考慮した input-output モデルを作成し、メンテナンス計画等を分析した。重要インフラ分析に関して4テーマに取り組んでいる。1つは、モデル分析結果をリアルタイムで政府や企業と情報共有する意思決定支援ツールの開発である。もう1つは、危機シナリオを生成する標準モデル構築である(EU 資金により実施)。3つ目はミラクルプロジェクトであり、定性的分析として、危機的状況下で機能維持に必要な政策や技術に関するデータ整備を行っている。緊急時には社会機能維持に必要な手段、資源を確保することが重要であり、例えばオランダは、緊急時には海水淡水化も含めた水供給政策が重要であると認識している。そして最後は、システムダイ

ナミクス手法により、各種インフラやサービスの回復スピードの違いやストック量も考慮した上で、サプライチェーンの機能回復過程のモデル分析を行っている。

レジリエンスは対象の機敏性 (agility) と持続性 (vitality) で評価する視点が重要である。これまで当方の研究グループでは、ミラノの交通部門や電力部門のレジリエンス評価を実施し、これらの視点で評価を実施した。

3 - 4. 会議等の活動

・実施体制内での主なミーティング等の開催状況

年月日	名称	場所	概要
H25.10.25 ~26	第1回 RISTEX-CIR 研究会	KKR 千歳荘 (伊豆長岡)	各参加メンバーの役割分担の確認と、当面の課題の検討
H26.1.20	第2回 RISTEX-CIR 研究会	東京大学 工8号館	進捗状況の報告と、米国への訪問調査の計画調整

4. 研究開発成果の活用・展開に向けた状況

特に該当なし。

5. 研究開発実施体制

(1) モデリング・シミュレーショングループ

- ① 吉村忍 (東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻、教授)
- ② 複合インフラシステムのモデリングとシミュレーション

(2) レジリエンス総合評価グループ

- ① 古田一雄 (東京大学大学院工学系研究科附属レジリエンス工学研究センター、教授)
- ② レジリエンスの総合評価と意思決定支援

(3) 政策・制度設計グループ

- ① 谷口武俊 (東京大学政策ビジョン研究センター、教授)
- ② 市民社会・社会活動の安全に係る政策・制度の選択肢研究

6. 研究開発実施者

モデリング・シミュレーショングループ：東京大学

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目
吉村 忍	ヨシムラ シノブ	東京大学大学院工学系 研究科	教授	統括／モデル構築と脆弱 性・耐性分析
大澤 幸生	オオサワ ユキオ	東京大学大学院工学系 研究科	教授	シナリオ共創による脅威 シナリオ作成
和泉 潔	イズミ キヨシ	東京大学大学院工学系 研究科	准教授	サービスシステムへの影 響分析
藤井 秀樹	フジイ ヒデキ	東京大学大学院工学系 研究科	講師	シミュレーションシステ ムの開発
山田 知典	ヤマダ トモノリ	東京大学人好物工学研 究センター	准教授	内的・外的脅威分析
井上 知子	イノウエ トモコ	東京大学大学院工学系 研究科	技術補佐員	データ整理

レジリエンス総合評価グループ：東京大学

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目
古田 一雄	フルタ カズオ	東京大学大学院工学系 研究科	教授	統括／評価基準の策定
菅野 太郎	カンノ タロウ	東京大学大学院工学系 研究科	准教授	復旧プランの最適化手法 の開発
小宮山 涼一	コミヤマ リョウイチ	東京大学大学院工学系 研究科	准教授	エネルギーシステムのレ ジリエンス分析

政策・制度設計グループ：東京大学

氏名	フリガナ	所属	役職 (身分)	担当する 研究開発実施項目
谷口 武俊	タニグチ タケトシ	東京大学政策ビジョン 研究センター	教授	統括／政策・制度選択肢 の創出、評価

三國谷 勝範	ミクニヤ カツノリ	東京大学政策ビジョン 研究センター	教授	政策・制度選択肢の創出、 評価
佐藤 智晶	サトウ チ アキ	東京大学政策ビジョン 研究センター	特任講師	危機管理組織の制度設計
畑中 綾子	ハタナカ リョウコ	首都大東京法科大学院	助教	緊急事態の法制度調査
太田 響子	オオタ キ ョウコ	東京大学政策ビジョン 研究センター	特任研究員	国内外の政策・制度の調 査分析

7. 研究開発成果の発表・発信状況、アウトリーチ活動など

7-1. ワークショップ等

特に該当なし。

7-2. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

(1) 書籍、DVD

特に該当なし

(2) ウェブサイト構築

- ・レジリエンス工学研究センター、<http://rerc.t.u-tokyo.ac.jp/project1.html>、2013/10

(3) 学会（7-4.参照）以外のシンポジウム等への招聘講演実施等

- ・レジリエント・ガバナンス研究会報告書、産業競争力懇談会 COCN・東京大学政策ビジョン研究センター、2014年3月3日、
http://pari.u-tokyo.ac.jp/policy/policy140327_cocn.pdf
- ・「科学技術政策のための科学研究開発プログラム」プログラム全体会合、市民生活・社会活動の安全確保政策のためのレジリエンス分析、平成26年3月1日、クロスウエーブ府中

7-3. 論文発表

(1) 査読付き（ 0件）

(2) 査読なし（ 0件）

7 - 4. 口頭発表（国際学会発表及び主要な国内学会発表）

（1）招待講演（国内会議__0件、国際会議__1件）

- ・ Deans forum 2nd workshop on Resilience Engineering, Service Systems Resilience – Interdependencies between Service, Infrastructure, and Life Systems, November 18, 2013, MINES Paris Tech

（2）口頭発表（国内会議__0件、国際会議__0件）

（3）ポスター発表（国内会議__0件、国際会議__0件）

7 - 5. 新聞報道・投稿、受賞等

なし

7 - 6. 特許出願

なし